

**BEST AVAILABLE COPY**



HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

le premier dépôt, d) Mettre en place et caler les mandrins dans un moule creux de manière à délimiter des espaces libres dans le moule, e) Injecter de la résine dans le moule de façon à remplir au moins en partie les espaces libres, de manière à réaliser des renforts dans une enveloppe de la structure ou dans des cloisons internes de ladite structure, f) Polymériser la résine et l'ensemble ainsi constitué, et démouler ledit ensemble, g) Effectuer un second dépôt de fibres, h) Disposer l'ensemble dans un module creux et procéder à l'étape (b), i) Polymériser l'ensemble et démouler la structure finale obtenue, j) Et effectuer un traitement de finition de la structure obtenue à l'étape (i).

**Procédé de fabrication de profils présentant un état de surface spécifique en résines synthétiques renforcées par des fibres et machine pour mettre en œuvre le procédé**

5 L'invention concerne un procédé de fabrication de structures aérodynamiques avec un état de surface extérieur spécifique en résines synthétiques renforcées par des fibres réalisé sur machine de dépose en enroulement ou au contact de fibres sur de telles structures.

La suite du texte mentionnera des termes ou expressions dont la  
10 définition est donnée ci-après :

Ainsi, par "*agent tackifiant*" on entend un agent ou produit permettant de fixer au moins provisoirement des fibres entre elles et/ou sur un support. Un tel agent tackifiant peut être une colle ou une résine.

Par "*plis*" on entend une couche ou un laminé de fibres, par  
15 exemple de fibres de verre.

Par "*échantillonnage*" on entend le nombre de couches de fibres, l'épaisseur de chaque couche et l'orientation des couches.

Par "*résine moussante*" on entend, par exemple, une résine qui sous certaines conditions, se transforme en mousse pour se répandre dans  
20 des espaces libres ou cavités d'un moule. Un exemple de résine moussante est de la résine époxy expansible.

Par "*fibre continue*", on entend une fibre qui n'est pas sectionnée ou coupée au cours de son dépôt sur un mandrin ou un support.

Par "*fibres discontinues*" on entend des fibres sectionnées à des  
25 endroits précis, pour s'adapter aux contraintes de formes et/ou d'épaisseur des couches déposées.

Les structures aérodynamiques avec un état de surface extérieur spécifique en résines synthétiques renforcées par des fibres sont fabriquées traditionnellement, par moulage par contact de tissus ou de mèches, dans des  
30 moules creux en deux demi-coquilles, ou sur des moules mâles en une seule enveloppe. Les fibres sont soit déjà imprégnées de résine et polymérisées après la dépose avec un compactage, soit déposées sèches, avec éventuellement un agent tackifiant, et imprégnées soit manuellement par contact, soit par infusion, transfert ou injection de résine, avec des outillages du  
35 type contre-moule creux ou bâche souple.

Les techniques de moulage dans des moules creux en deux demi-coquilles nécessitent généralement une dépose manuelle des tissus, pour la réalisation des différents éléments de l'enveloppe extérieure et pour les renforts internes, tels que les cloisons et les structures sandwich. Traditionnellement, ces éléments sont par la suite ébavurés, collés et stratifiés à nouveau ensemble, mastiqués et polis de façon entièrement manuelle. Les principaux inconvénients de cette technique résident d'une part dans la nécessité d'une main d'œuvre importante et qualifiée, d'autre part dans la fragilité du produit final due aux collages des différents éléments constituant le profil final. De plus, les chutes de matières premières sont importantes du fait des nombreuses découpes.

Les techniques de moulage en une seule enveloppe sur des moules mâles sont soit manuelles, soit automatisées, notamment suivant la technique de dépose automatisée de fibres par enroulement ou au contact.

Dans le cas d'une mise en œuvre manuelle, les pièces réalisées sont généralement de taille réduite et les fibres déposées ne sont pas continues, en raison de la difficulté de manipuler et positionner les matériaux et les outillages de grande dimension de façon précise. Ainsi les pièces réalisées n'ont pas une structure optimale du fait de la discontinuité des fibres et la taille du produit final est limitée.

Des techniques de dépose automatisée de fibres par enroulement ou au contact ont plusieurs fois été proposées pour fabriquer la structure interne et/ou l'enveloppe extérieure de structures aérodynamiques. Ces techniques automatisent la phase de dépose de fibres et de résine, mais ne permettent pas de réaliser des structures de type sandwich sans phase de dépose manuelle. De plus, l'âme de ces structures sandwich se présente sous forme de plaques d'épaisseur constante qui ne permettent pas d'obtenir une structure optimale avec des épaisseurs variables et spécifiques en chaque point de l'enveloppe ou des cloisons.

Un autre inconvénient de ces techniques automatisées réside dans leur application pour la fabrication de structures de grande longueur. En effet, du fait de la difficulté de manipuler ou de mettre en mouvement des mandrins sans déformations importantes, la configuration des dispositifs actuels de dépose automatisée de fibres par enroulement ou au contact ne permet pas de déposer de façon précise des fibres continues sur un moule interne ou mandrin

en mouvement qui peut fléchir de quelques centimètres pour des longueurs de plus de 25 m.

On connaît par exemple, par le document EP 0 657 646, un dispositif et un procédé de fabrication de structures aérodynamiques, utilisant des enroulements longitudinaux et croisés de fibres associées à une résine synthétique. Des noyaux creux ou en mousse rigide sont introduits au coeur des enroulements. Un tel procédé ne permet pas a priori d'obtenir des propriétés mécaniques satisfaisantes pour réaliser des structures aérodynamiques de très grandes dimensions, notamment de 25m et plus. En outre, un tel procédé ne permet pas d'obtenir des stratifiés d'épaisseur importante et décroissante sur la longueur des structures.

Les documents FR 2 773 513, EP 0 225 563 et EP 0 680 818 décrivent des machines et systèmes de dépose automatisée de fibres par enroulement ou au contact pour la réalisation de diverses structures composites de grande dimension, notamment des profils aérodynamiques. Ces documents ne décrivent pas de solution pour déposer des fibres continues sur des mandrins ou des moules de grandes dimensions en mouvement et fléchissant de quelques centimètres.

Les documents WO 99/22932 et US 4 699 683 décrivent des machines et systèmes de dépose pour la réalisation de diverses structures composites de grande dimension, notamment des structures aérodynamiques, mais les fibres ne sont pas continues car l'enveloppe est réalisée suivant deux demi-coquilles qui sont ensuite assemblées par collage, ce qui fragilise le produit final.

Un inconvénient des machines et dispositifs existants de dépose automatisée de fibres par enroulement ou au contact est la faible capacité de dépose de matériaux par unité de temps, par rapport à la quantité totale de matière à déposer pour la réalisation de profils aérodynamiques de grande dimension. Par exemple, la fabrication d'une pale d'éolienne de 40 m de long et d'une masse de 10 tonnes nécessiterait un temps d'enroulement et de dépose de 100 heures avec une machine déposant 100 kg à l'heure.

Un autre inconvénient des machines et dispositifs actuels de dépose automatique de fibres est leur prix élevé car elles sont généralement composées d'éléments spécifiques, tels que des chariots, des axes et des liaisons mécaniques, réalisés sur mesure et donc à prix élevé, vu les faibles séries produites. Ainsi, les temps de fabrication importants ne seraient pas

rentables en raison du coût horaire d'une telle machine qu'il ne serait pas possible d'amortir avec une cadence de production aussi faible.

De plus, ces conceptions de type machine spéciale, garantissent des niveaux de fiabilité inférieurs aux machines réalisées à partir d'éléments standards fiabilisés dans de nombreuses applications. Enfin, leur fonction spécifique pour la dépose de fibres, ne permet pas d'effectuer d'autres tâches automatisées tel que du traitement de surface ou de l'usinage.

Le but de l'invention est de fournir un procédé de fabrication de structures aérodynamiques ne présentant pas les inconvénients de l'état de la technique et permettant d'améliorer les caractéristiques mécaniques desdites structures.

Un autre but de l'invention est de fournir un procédé de fabrication de structures aérodynamiques permettant d'obtenir un état de surface spécifique et d'augmenter les dimensions maximales desdites structures, tout en diminuant les coûts de fabrication.

Les buts assignés à la présente invention sont atteints à l'aide d'un procédé de fabrication de structures aérodynamiques s'étendant selon une direction longitudinale et un plan transversal, utilisant un assemblage d'au moins deux mandrins et consistant à :

- a) Effectuer un premier dépôt de fibres sur chaque mandrin pour enrober chaque mandrin,
- b) Compacter sous vide le dépôt de fibres et/ou infuser ledit dépôt d'une résine polymérisable,
- c) Polymériser le premier dépôt,
- d) Mettre en place et caler les mandrins enrobés dans un moule creux de manière à délimiter des espaces libres dans le moule,
- e) Injecter de la résine dans le moule de façon à remplir au moins en partie les espaces libres, de manière à réaliser des renforts dans une enveloppe de la structure ou dans des cloisons internes de ladite structure,
- f) Polymériser la résine et l'ensemble ainsi constitué, et démouler ledit ensemble,
- g) Effectuer un dépôt complémentaire de fibres sur l'ensemble, obtenu à l'étape (f).

h) Disposer l'ensemble dans un moule creux et soit procéder de nouveau à l'étape (b), soit injecter de la résine dans le moule creux,

i) Polymériser l'ensemble et démouler la structure finale obtenue,

5 j) Et effectuer un traitement de finition de la structure obtenue à l'étape (i).

Selon un mode de mise en oeuvre, le procédé conforme à l'invention consiste lors de l'étape (e), à intégrer dans les espaces libres, des inserts solides en complément de l'injection de résine.

10 Selon un autre mode de mise en oeuvre, le procédé conforme à l'invention consiste lors de l'étape (e), à utiliser de la résine moussante dont l'expansion dans la structure et au sein d'un gabarit disposé dans le moule, permet de constituer des renforts dans ladite structure aérodynamique.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront également de la description détaillée ci-après, en référence aux dessins annexés, donnés à titre d'exemples dans lesquels :

- la **figure 1** est une vue schématique en perspective d'une structure aérodynamique selon l'invention ;

20 - la **figure 2** est une vue schématique éclatée en perspective des différents composants internes et rapportés de la structure de la figure 1 ;

- la **figure 3** est une vue schématique en coupe transversale selon la ligne III-III de la figure 1 d'une structure aérodynamique selon l'invention ;

- la **figure 3a** est un détail agrandi de la figure 3 ;

25 - la **figure 4** est une vue schématique en coupe transversale selon la ligne IV-IV de la figure 1, d'une structure aérodynamique selon l'invention ;

- la **figure 4a** est un détail agrandi de la figure 4 ;

30 - la **figure 5** est une vue schématique en perspective de la première étape de dépose en enroulement et/ou au contact de fibres sur un mandrin ;

- la **figure 6** est une vue schématique en perspective d'une machine verticale pour la fabrication de pales de grandes dimensions durant une deuxième étape de dépose de fibres sur la structure aérodynamique ;

- la **figure 7** est une vue schématique en perspective d'une machine verticale pour la fabrication de pales de grandes dimensions durant le démontage du profil après la deuxième étape de dépose de fibres ;

5 - la **figure 8** est une vue schématique en coupe transversale du moule creux dans lequel est déposé un gabarit pour imposer des dimensions et un état de surface interne lors d'une étape d'injection et d'expansion de l'âme en mousse ;

10 - la **figure 9** est une vue schématique éclatée en perspective des mandrins et des éléments rapportés positionnés dans le moule creux avec un gabarit ;

- la **figure 10** est une vue schématique en coupe transversale selon la ligne X-X de la figure 9; des mandrins et des éléments rapportés dans le moule creux avec un gabarit après la phase d'expansion et de polymérisation de la résine ;

15 - la **figure 11** est une vue schématique en perspective du retrait de trois mandrins de la structure obtenue après l'injection et la polymérisation de la résine;

- la **figure 12** est une vue schématique en perspective des éléments rapportés et collés sur la structure ;

20 - la **figure 13** est une vue schématique en perspective d'une deuxième étape de dépose en enroulement et/ou au contact de fibres sur la structure ;

- la **figure 14** est une vue schématique en coupe transversale selon la ligne X-X de la figure 9 de la structure dans le moule creux avec la  
25 résine injectée ;

- la **figure 14a** est un détail agrandi de la figure 14 ;

- la **figure 15** est une vue schématique en perspective de l'opération de retrait du mandrin de la structure finie.

30 A titre d'exemple on a décrit ci-dessous et illustré schématiquement sur les figures 1 à 15, une forme de réalisation de l'objet de l'invention, figures sur lesquelles sont représentées trois directions orthogonales L, T et E. La direction longitudinale, nommée L, correspond à l'axe de rotation d'une machine de dépose de fibres et à la direction axiale du pied de la pale (partie à fixer sur l'élément extérieur tel que moyeu du rotor) à son extrémité libre. Une  
35 direction transversale, nommée T, est orthogonale à la direction L et située

dans un plan horizontal passant par L. Une direction dite en élévation, E est orthogonale aux directions L et T.

L'exposé qui suit permet de comprendre comment est fabriquée une structure aérodynamique selon l'invention, telle qu'une pale d'éolienne 1 représentée sur la vue schématique en perspective de la figure 1, et quelles sont les nouvelles performances apportées.

Avant toute fabrication, une étude, effectuée à la conception, a permis de connaître la forme du profil à fabriquer et les différentes contraintes qui lui seront soumises. Une partie de cette étude définit l'épaisseur et le nombre de laminés, l'orientation des fibres dans les différentes parties du profil ainsi que la direction, les dimensions et les emplacements des cloisons et des structures sandwich éventuelles.

La figure 2 montre une vue schématique éclatée en perspective des différents composants internes 2, 3, 4, 5, 6, 7, par exemple prévus pour la réalisation de la pale 1. Les composants internes comprennent ainsi des mandrins 2, 3, 4, 5 pleins ou creux, une pièce rapportée 6 et une extrémité libre 7.

La pale 1 comprend un pied 8 destiné à être monté sur un rotor d'éolienne et une partie allongée 9 en structure sandwich.

La figure 3 est une vue schématique en coupe de la structure selon la ligne III-III de la figure 1, avec une structure composée d'une enveloppe 10 dont la fonction est de créer la force aérodynamique désirée et des cloisons internes 11 qui apportent la résistance et la rigidité nécessaires.

Des stratifiés 12 et 13 composés de plis orientés approximativement dans la direction L et d'une épaisseur décroissante du pied 8 de la pale 1 à son extrémité libre, travaillent en traction et compression et reprennent les contraintes en flexion principalement dues à la pression aérodynamique et de façon moindre dues au propre poids de la pale.

On voit sur la figure 3 que les stratifiés 12 et 13 sont regroupés dans des zones éloignées des plans neutres proches des plans représentés par L,T et E,L, pour augmenter les moments d'inertie de la pale par rapport aux contraintes principales.

Des stratifiés 14 et 15 représentés par exemple à la figure 3a et enrobant les mandrins 2, 3, 4 et 5 sont composés par exemple à 80% de plis orientés à +/- 45°, à 10% de plis à 90° et à 10% de plis à 0° par rapport à la direction L. Les stratifiés 14 et 15 reprennent principalement les contraintes de

cisaillement entre les stratifiés 12 et 13, les contraintes locales dues à la pression extérieure sur l'enveloppe 10 et les contraintes de torsion.

La pale 1 contient par ailleurs localement de la mousse 16, obtenue par exemple à partir d'une résine moussante, d'une épaisseur variable, apportant de l'inertie à l'enveloppe 10 et aux cloisons 11 afin de limiter l'épaisseur des stratifiés 14 et 15. Il est prévu que, dans ce cas avec trois cloisons 11, le nombre de plis à  $\pm 45^\circ$  et  $90^\circ$  du stratifié 14 doit être identique au niveau des cloisons 11 et au niveau de l'enveloppe 10. Il est aussi prévu que le nombre de plis à  $\pm 45^\circ$  et  $90^\circ$  du stratifié 14 au niveau des cloisons 11 doit être identique au nombre de plis à  $\pm 45^\circ$  et  $90^\circ$  du stratifié 15 au niveau de l'enveloppe 10. On peut ainsi avoir, au niveau des cloisons 11 et des stratifiés 14, des symétries pour ce qui concerne les nombres de plis.

Il est aussi prévu que le nombre de plis à  $0^\circ$  des stratifiés 14 et 15 est identique au niveau de l'enveloppe 10. Il est aussi prévu que l'agencement et le nombre des plis des stratifiés 14 et 15 sont définis de façon à obtenir une structure symétrique de part et d'autre de la mousse 16 au niveau des cloisons 11 et de l'enveloppe 10.

La figure 4 est une vue schématique en coupe de la partie de pied 8 de la pale 1 suivant la ligne IV-IV de la figure 1 avec une structure composée de l'enveloppe 10 dont la fonction est de transmettre les contraintes de liaison à un élément extérieur, tel que le rotor d'une éolienne, de la partie 9 au pied 8 montrés à la figure 2. Les stratifiés 13 en quantité plus importante sur le pied 8 que sur la partie 9, sont régulièrement disposés autour d'un profil cylindrique pour répartir les contraintes principales aux points de fixation de la pale 1, recouvrant les plis des stratifiés 14 déposés sur toute la longueur de la pale 1. Les stratifiés sont recouverts par les plis des stratifiés 15 sur toute la longueur de la pale 1. Les fortes contraintes de torsion, flexion et cisaillement et flambement sont aussi reprises par un stratifié supplémentaire 17 sur le pied 8 (composé de plis approximativement équilibrés à  $\pm 45^\circ$ ,  $90^\circ$  et  $0^\circ$  par rapport à L) d'une épaisseur décroissante du pied 8 à la partie 9.

L'épaisseur totale de ces stratifiés 13, 14, 15, 17 est suffisante pour assurer la raideur de l'enveloppe 10 sur le pied 8 et ne nécessite pas d'âme en mousse 16 comme celle prévue sur la partie 9, dont l'épaisseur devient progressivement nulle de la partie 9 à la partie 8.

Il est établi que l'orientation, la continuité et l'agencement des plis des différents stratifiés ainsi obtenus répondent au mieux aux contraintes de

forme, de résistance et de raideur d'une pale 1 d'éolienne, tout en étant réalisables suivant le procédé et avec la machine décrits ci-après. L'épaisseur de chaque pli ainsi que le nombre de cloisons 11 internes (pouvant être nul) pourront aisément être calculés et adaptés en fonction de la dimension de la structure aérodynamique, des matériaux utilisés et des hypothèses de charges prévues.

La figure 5 est une vue schématique en perspective qui illustre la première étape de dépose par enroulement et/ou au contact de fibres sur le mandrin 3, avec une machine 19 sur laquelle peuvent être réalisées toutes les étapes du procédé décrit ci-après. Cette machine 19 est constituée d'éléments standards, tels que des robots 20 sur lesquels peuvent être montés différents systèmes tels qu'une tête 21 de dépose par enroulement et/ou au contact de fibres, une tête d'usinage ou de projection. Ces robots 20 d'un nombre variable, sont montés sur des axes linéaires 22 et le mandrin 3 est mis en rotation grâce à un positionneur 23 et à une contre-pointe 24. En fonction de la taille de la structure à réaliser, et aussi de la quantité de matière à déposer ou usiner, la machine 19 peut avoir une configuration horizontale comme le montre la figure 5, ou une configuration verticale, comme le montre schématiquement la figure 6. Cette figure montre un plateau 24 avec un système de levage et de guidage 25, utilisant les solutions standards des monte-charges traditionnels tels que câbles ou vérins avec un contrepoids, qui permet d'embarquer plus de deux robots 20 pour déposer par enroulement et/ou au contact simultanément plus de matière. Cette configuration verticale permet de supprimer le problème de la flèche du mandrin 3 et de réduire le risque de décollement de matière ou de plis lors de la rotation du mandrin. Dans les deux configurations, un codeur mesurant la vitesse et la position du positionneur 23 à axe vertical ou horizontal, commande le plateau 24 ou des chariots 20a, possédant eux mêmes leur système de codage et supportant les robots 20 indépendants les uns des autres.

Le montage et le démontage des mandrins et structures est réalisé dans le cas de la machine 19 verticale à l'aide du positionneur 23 qui bascule le profil au niveau du pied, comme le montre la figure 7. L'axe de rotation est prévu pour que la structure soit dans une position favorable, c'est-à-dire pour limiter sa flèche durant le basculement, par exemple autour de l'axe E. Dans le cas d'une machine 19 horizontale, le montage et démontage de la pale 1 est réalisé de façon traditionnelle.

Les dimensions internes et externes de la pale 1 étant connues, des moules internes, par exemple quatre mandrins 2, 3, 4, 5 dont les dimensions extérieures correspondent aux dimensions internes des quatre composants 2a, 3a, 4a et 5a de la pale 1, et un moule creux 26 dont la face interne correspond aux dimensions externes de la pale 1 à réaliser, ont été fabriqués suivant les techniques traditionnelles. Ils pourront être constitués entièrement ou en partie d'éléments gonflables ou souples, dans le cas où la forme ne permet pas de les retirer après polymérisation en raison de formes non démoulables, ou dans le cas de dépouilles trop faibles sur des grandes longueurs. De plus, il peuvent dans un certain mode de réalisation, permettre le compactage des différents plis qui les recouvriront.

Un premier mandrin 3 correspondant par exemple à la forme interne de l'élément 3a est monté sur la machine 19 pour subir éventuellement un traitement d'affinage de sa surface externe, tel que la projection d'un agent démoulant et d'un agent tackifiant par un système de pulvérisation monté en extrémité des robots 20, et éventuellement la mise en place de picots (non représentés) aux extrémités du mandrin 3.

Une fois cette préparation terminée, la dépose automatique de fibres par enroulement et/ou au contact est effectuée de façon à obtenir l'échantillonnage défini lors de la conception, grâce aux têtes 21 de dépose par enroulement ou au contact de fibres, telles que celles que l'on trouve dans l'industrie qui permettent de placer et coller des fibres, par exemple constituées de mèches pré-imprégnées, continues ou discontinues, qui sont montées aux extrémités des robots 20. Cette dépose par enroulement et/ou au contact débute par exemple par les plis des stratifiés 14 à  $45^\circ$  et  $-45^\circ$ , à  $88^\circ$  et  $-88^\circ$ , et  $0^\circ$  par rapport à la direction L et continus entre les deux extrémités du mandrin 3, tel que le montre la figure 5. Les plis à  $0^\circ$  des stratifiés 12 ou 13, en fonction du mandrin qui est recouvert, sont ensuite déposés longitudinalement suivant la direction L, en réduisant progressivement le nombre de couches de la zone du pied 8 de pale 1 à son extrémité libre, c'est-à-dire en interrompant la dépose à des zones intermédiaires entre les deux extrémités. Les trois autres mandrins 4, 5, 6 subissent ensuite les mêmes traitements et sont tous les quatre polymérisés suivant les techniques connues, par exemple sous vide à une température de  $80^\circ\text{C}$ .

En parallèle, un moule creux 26 prévu pour la phase de réalisation de l'âme en mousse est préparé. Par exemple, tel que le représente la figure 8,

ce moule 26 peut être réalisé en deux parties dont les dimensions internes correspondent aux dimensions externes finales de la pale 1, dans lequel on dépose un gabarit 27 en deux parties, par exemple en composite avec des épaisseurs adéquates pour adapter ses dimensions et son état de surface interne à l'étape d'expansion de l'âme en mousse 16. Le volume de ce gabarit 27 en deux parties correspond aux fibres et à la résine qui seront déposées dans une deuxième phase, avec leur épaisseur spécifique en chaque point. Afin de garantir un bon accrochage du collage qui sera réalisé avec les stratifiés 15 et 17, l'état de surface interne de ce gabarit 27 possède une rugosité adéquate, qui peut nécessiter la dépose d'un agent démoulant avant l'injection ou la dépose de résine.

Durant le positionnement des quatre mandrins 2, 3, 4, et 5 recouverts de leur stratifiés 12, 13, et 14 dans le moule 26 et le gabarit 27, des éléments, tel que l'extrémité 7 faisant partie de la pale 1, peuvent être rapportés comme le montre la figure 9. L'extrémité 7 peut être réalisée par exemple de façon traditionnelle en fibres avec une injection de résine. Cette extrémité 7 possède à l'extérieur une surface lisse aux dimensions externes définitives de la pale 1 et à l'intérieur une surface rugueuse pour assurer un collage de qualité sur les stratifiés 12, 13, et 14 recouvrant les mandrins 2, 3, 4 et 5. D'autres renforts et/ou des fibres et/ou des inserts tels que des câbles de paratonnerre peuvent être disposés dans le moule 26 et le gabarit 27 afin d'être imprégnés ou collés par la résine moussante. Un système de manutention et de calage 31 permet de positionner l'ensemble des mandrins dans le moule 26 et le gabarit 27 afin de les maintenir à une distance donnée de la paroi interne dudit moule 26 et entre les mandrins 2, 3, 4, 5. Cette distance est spécifique à chaque partie de l'enveloppe 10 et des trois cloisons 11 de la pale 1, et correspond à l'épaisseur variable des renforts de mousse 16 prévus à la conception.

La figure 10 montre schématiquement et en coupe transversale selon la ligne x-x de la figure 9, les mandrins 2, 3, 4 et 5 recouverts de leur stratifiés 12, 13, et 14 dans le moule 26 avec son gabarit 27 après la phase d'expansion de la résine moussante 16 qui a été précédemment projetée et/ou injectée, éventuellement par étapes séquentielles. Cette résine moussante peut être par exemple de la résine époxy avec un agent moussant qui permet de réduire la densité de la mousse polymérisée. La mousse 16 ainsi obtenue

assure d'une part un collage entre les quatre mandrins 2, 3, 4, 5, et d'autre part un renfort structurel.

La figure 11 est une vue schématique en perspective de l'opération de retrait (voir directions de retrait R) des trois mandrins 2, 4 et 5 de la structure 32 obtenue après la polymérisation de la résine moussante, avec le moule 26 maintenu de préférence fermé pour bloquer ladite structure 32 durant le retrait. Le mandrin 3 est laissé en place pour manipuler la structure obtenue 32 et conserver les mêmes références de position durant les prochaines étapes du procédé. A la conception de la pale 1 et du mandrin 3, il a été calculé que les centres de gravité de l'ensemble constitué par le mandrin 3 et la structure 32 obtenue, laquelle est recouverte par la suite des stratifiés 15 et 17, sont les plus proches possibles de l'axe de rotation du positionneur 23 de la machine 19, afin de limiter les balourds durant les prochaines étapes de dépose de plis.

La structure 32 avec son mandrin 3 est ensuite démoulée du gabarit 27. Des inserts peuvent être rapportés et collés, tel que l'élément 6 représenté sur la figure 12. La structure 32 est ensuite manipulée d'un côté grâce à l'extrémité du mandrin 3, de l'autre côté grâce à un conformateur 33 qui maintient l'ensemble par l'extrémité 7 finie et qui le positionne dans l'axe du positionneur 23 de la machine 19 durant les prochaines étapes du procédé, comme on le voit sur la figure 13. Une nouvelle étape de dépose de plis peut aussi être effectuée.

Avant cette dépose, la structure 32 peut subir éventuellement sur la machine 19 un traitement d'affinage de sa surface externe, tel que la projection d'un agent tackifiant par un système de pulvérisation monté en extrémité des robots 20 et/ou un ébavurage des plans de joint de la résine moussante grâce à un système d'usinage monté en extrémité des robots 20. Une fois cette préparation terminée, la dépose automatique de fibres est effectuée de façon à obtenir l'échantillonnage défini lors de la conception, grâce à des têtes 21 de dépose par enroulement et/ou au contact de fibres montées aux extrémités des robots 20, comme le montre la figure 13. Cette étape débute par exemple par la dépose des plis des stratifiés 15 et 17. Le nombre de couches est réduit progressivement du pied 8 de la pale 1 à son autre extrémité, en coupant les fibres dans des zones intermédiaires entre les deux extrémités.

Les plis des fibres des stratifiés 15 et 17, par exemple pré-imprégnés d'un agent tackifiant pour leur maintien sur la structure 32, peuvent

être ensuite imprégnés par une injection de résine. Dans ce cas, il est prévu durant la dépose de fibres, de laisser des espaces adéquats entre chaque groupe ou mèche de fibres dans certaines parties et/ou couches, afin de faciliter le transfert de résine durant l'injection. Ces espaces pourront être  
5 obtenus au moyen d'un réglage sur les têtes 21 de dépose par enroulement et/ou au contact de l'espacement des poulies ou des peignes de guidage des mèches de fibres, ou au moyen de mèches plus étroites n'étant pas jointives en sortie des têtes 21. Aussi, des matériaux de drainage tel que des feutres sous forme de bandes peuvent être appliqués entre les couches.

10 En parallèle, le moule creux 26, dont les dimensions internes correspondent aux dimensions externes finales de la pale 1, a été préparé avec le retrait du gabarit 27 et éventuellement la dépose d'un agent démoulant et d'un film thermoplastique ou thermodurcissable destiné à protéger et colorer la surface externe de la pale 1. La structure 32 recouverte des stratifiés 15 et  
15 17 est ensuite déposée dans le moule 26, afin de réaliser un transfert de résine, par exemple au moyen d'une injection assistée du vide. Des inserts, tel qu'un bord de fuite 34 peuvent être rapportés. Les figures 14 et 14a sont des vues schématiques en coupe transversale selon la ligne x-x de la figure 9 de la structure finale 35 obtenue une fois la résine injectée et polymérisée, qui  
20 correspond à la forme de la pale 1 terminée, avec le moule 26 et le mandrin 3 restés en place.

Cette structure finale 35 est ensuite démoulée du moule 26 pour être montée sur la machine 19, avec le conformateur 33 et le mandrin 3 qui permettent de conserver les références de position. La structure finale 35 peut  
25 alors subir un traitement de finition tel que des ébavurages de plans de joint, des découpes pour l'assemblage d'inserts de fixation du profil à un élément externe et une peinture, grâce au montage sur les robots 20 de l'équipement adéquat, tel que pistolet de projection ou broche de fraisage et de perçage.

La structure finale 35 est ensuite démontée de la machine 19 et le  
30 mandrin 3 est retiré selon la flèche R, comme le montre la figure 15. Cette structure finale 35 correspond à la pale 1, prête à recevoir des inserts tels que des brides de fixation pour être ensuite montée sur un rotor d'éolienne.

Selon un exemple de mise en oeuvre, le procédé conforme à l'invention comprend les étapes prévoyant de :

35 - mettre en place avec la machine sur un mandrin 2, 3, 4, 5 longitudinal correspondant à la forme interne de la structure ou sur plusieurs

mandrins correspondant aux cavités internes longitudinales de la structure dans le cas où il possède des cloisons 11 internes longitudinales, des picots et/ou des produits anti-dérapants, permettant une augmentation de l'adhérence entre le ou les mandrins 5 et les fibres qui viendront le recouvrir ;

- 5                   - déposer sur le ou les mandrins par enroulement et/ou au contact avec la machine des fibres sèches ou imprégnées de résine ou d'agent tackifiant suivant des directions et des épaisseurs définies lors de la conception de la structure aérodynamique 32,

- 10                  - mettre sous pression les matériaux déposés sur le ou les mandrins 2, 3, 4, 5 avec un compactage sous vide à l'aide d'une bâche et/ou effectuer une infusion de résine sous bâche et polymériser la résine,

- 15                  - mettre en place ce ou ces mandrins 2, 3, 4, 5 recouverts des matériaux dans du moule creux 26 et les caler afin de les maintenir à une distance donnée de la paroi interne du moule creux 26 et entre eux s'ils sont plusieurs, injecter de la résine moussante ou non moussante dans tout l'espace libre qui correspond à l'épaisseur des renforts de mousse 16 prévus en chaque partie de l'enveloppe 10 et des éventuelles cloisons internes 11 de la structure finale,

- 20                  - après polymérisation de la mousse, laisser un mandrin 3 plein ou creux de façon à maintenir le centre de gravité de la pièce obtenue, et recouverte par la suite d'une autre couche de fibres, le plus près de l'axe de rotation du positionneur de la machine, retirer les éventuels autres mandrins 2, 4, 5 et démouler du moule creux 26 l'ensemble ainsi obtenu,

- 25                  - monter cet ensemble sur la machine et déposer sur cet ensemble par enroulement et/ou au contact avec la machine des fibres sèches ou imprégnées de résine ou de tackifiant suivant des directions et des épaisseurs définies lors de la conception de la structure aérodynamique 32,

- 30                  - mettre sous pression les matériaux disposés dans le moule creux 26 externe dont la face interne correspond à la forme externe du profil afin d'obtenir un état de surface externe identique à celui de la surface interne du moule creux 26 et un taux de résine déterminé, par une injection de résine et/ou une expansion de résine telle que résine moussante, et/ou par une augmentation du volume du ou des mandrins, ou mettre sous pression les matériaux par un compactage sous vide à l'aide d'une bâche et/ou une infusion  
35                  de résine à l'aide d'une bâche,

- après polymérisation, démouler le profil obtenu du moule creux 26 ou de la bache et le monter sur la machine pour faire subir un traitement d'affinage et/ou de finition tel qu'ébavurage, peinture et découpes, par exemple pour le passage ou l'assemblage d'inserts pour fixer la structure à un élément externe, et/ou pour l'évacuation du mandrin 3.

Le procédé de fabrication et les structures aérodynamiques obtenues par un tel procédé présentent des avantages importants :

La production est entièrement automatisée, grâce à l'emploi de logiciels de conception, de calculs par éléments finis, de simulation de dépose de fibres et de programmation de commande numérique. La machine de dépose de fibres est un centre automatisé d'usinage, de pulvérisation, de bobinage et de découpage. Ainsi, le risque de non conformité est limité, d'une part grâce à l'automatisation qui garantit la reproductibilité du produit fabriqué, d'autre part grâce à la réalisation des différentes opérations par l'intermédiaire des mêmes robots et banc de montage, améliorant la précision géométrique de la structure finale.

L'âme de la structure sandwich réalisée grâce à une expansion de résine moussante permet, par rapport au collage traditionnel de plaques, de réduire les temps de production, de garantir un collage parfait avec les peaux externes et internes, et d'avoir une épaisseur optimale et évolutive en chaque point de la structure optimisant la quantité de matière et le poids.

Le produit fini possède des qualités mécaniques élevées d'une part grâce à la dépose automatique qui permet de déposer les fibres dans des orientations optimales, d'autre part grâce aux fibres continues au maximum, sans notamment avoir de coupure entre la face supérieure et inférieure de la pale.

Le positionnement des inserts est beaucoup plus précis grâce à un usinage automatisé.

Les structures courantes, telles que les stratifiés d'épaisseur importante décroissant sur la longueur des structures ainsi que les âmes en mousse d'épaisseur variable sur une certaine longueur du profil, sont réalisables grâce aux différentes étapes de dépose de fibres et aux différentes techniques d'imprégnation et d'injection de résine.

Les dimensions maximales des structures réalisables sont augmentées grâce à la conception verticale de la machine de dépose de fibres, permettant la réalisation des plus grandes pales d'éoliennes.

La réalisation de la machine mettant en oeuvre le procédé conforme à l'invention à partir d'éléments standards apporte une grande fiabilité et un coût de l'ensemble réduit par rapport aux machines existantes.

Les cadences de productions sont augmentées grâce à la pluralité de têtes de dépose de fibres qui multiplient la quantité de matériau déposée à l'heure, et les pertes de matière sont quasiment nulles.

En outre, l'état de surface extérieur peut être lisse ou rugueux en fonction des besoins.

Enfin, le procédé, objet de l'invention, est particulièrement adapté à la fabrication en série de pales d'éoliennes et de structures aérodynamiques diverses tels qu'ailes et mâts.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de structures aérodynamiques (32, 35) s'étendant selon une direction longitudinale (L) et une direction transversale (T) et une direction en élévation (E), utilisant un assemblage de mandrins (2, 3, 4, 5) et consistant à :
- a) Effectuer un premier dépôt de fibres sur chaque mandrin (2, 3, 4, 5) pour enrober chaque mandrin (2, 3, 4, 5),
  - b) Compacter sous vide le dépôt de fibres et/ou infuser ledit dépôt d'une résine polymérisable,
  - c) Polymériser le premier dépôt,
  - d) Mettre en place et caler les mandrins (2, 3, 4, 5) enrobés, dans un moule creux (26) de manière à délimiter des espaces libres dans le moule,
  - e) Injecter de la résine dans le moule de façon à remplir au moins en partie les espaces libres, de manière à réaliser des renforts dans une enveloppe (10) de la structure (32) ou dans des cloisons internes (11) de ladite structure (32),
  - f) Polymériser la résine et l'ensemble ainsi constitué, et démouler ledit ensemble,
  - g) Effectuer un dépôt complémentaire de fibres sur l'ensemble obtenu à l'étape (f),
  - h) Disposer l'ensemble dans un moule creux (26) et procéder soit de nouveau à l'étape (b), soit injecter de la résine dans le moule creux (26),
  - i) Polymériser l'ensemble et démouler la structure finale (35) obtenue,
  - j) Et effectuer un traitement de finition de la structure (35) obtenue à l'étape (i).
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste, lors des étapes (a) et (g), à effectuer les dépôts de fibres au contact et/ou par enroulement.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il consiste, lors des étapes (a) et (g), à déposer des fibres sèches ou imprégnées d'une résine ou d'un agent tackifiant.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser des mandrins (2, 3, 4, 5) pleins ou creux, dont au moins un est retiré de l'ensemble consécutivement à l'étape (f) et dont le dernier mandrin (3), ou partie de mandrin, servant de support lors des étapes (g), (h), (i) et (j) est retiré de la structure aérodynamique (35) après l'étape (j).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser un moule (26) unique pour effectuer les étapes de moulage sous (d) et (h) et à disposer un gabarit (27) dans ledit moule pour l'étape (d) de manière à définir la forme de l'ensemble après injection de résine lors de l'étape (e).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il consiste lors de l'étape (e) à intégrer, dans les espaces libres, des inserts solides en complément de l'injection de résine.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il consiste, lors de l'étape (e), à utiliser de la résine moussante, dont l'expansion dans la structure (32) et au sein du gabarit (27) permet de constituer des renforts dans la structure aérodynamique (32).

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser lors du premier dépôt de fibres des plis orientés sensiblement dans la direction longitudinale (L) de la structure aérodynamique (32), en complément des plis destinés à enrober les mandrins.

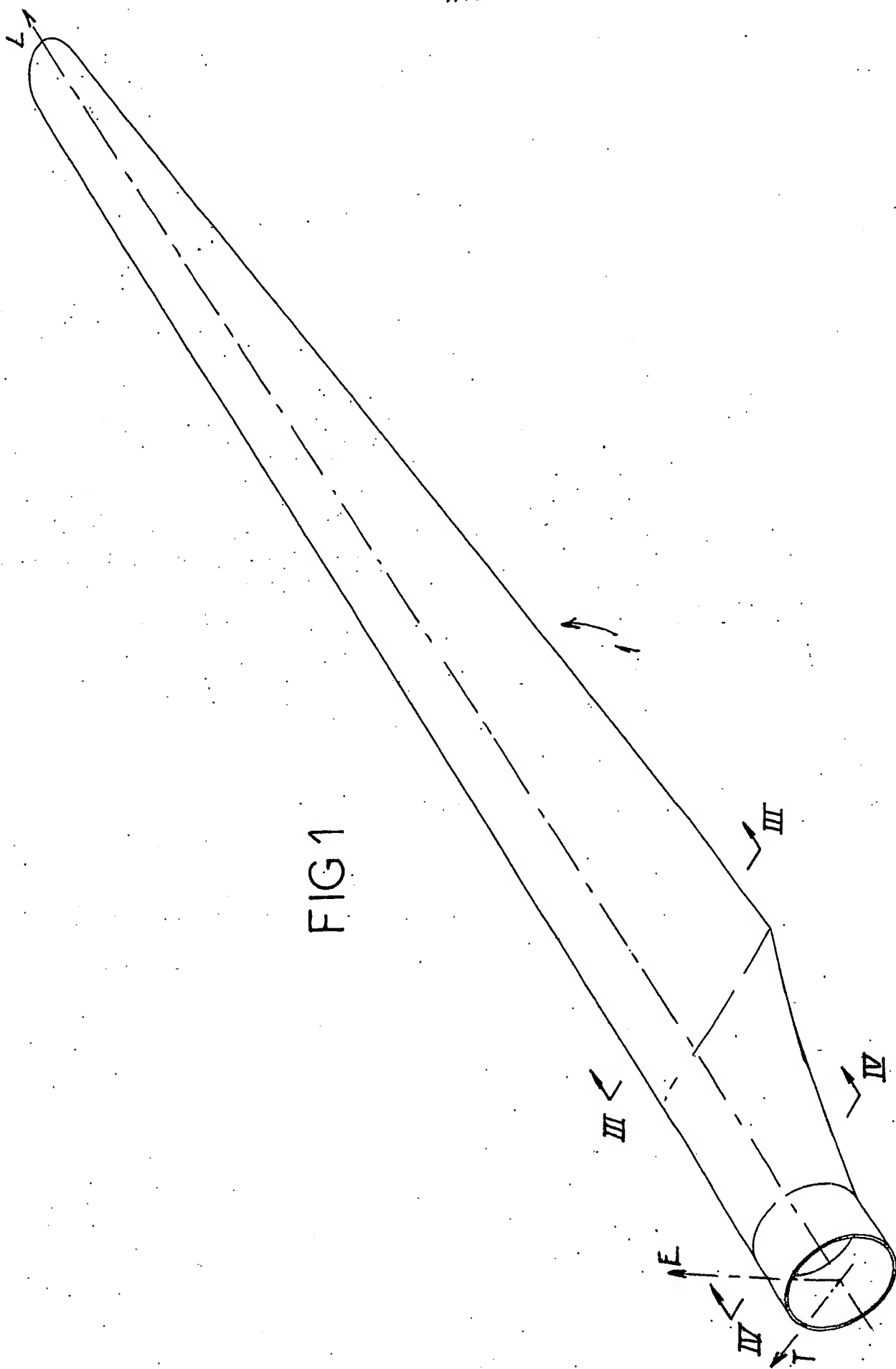
9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il consiste à injecter la résine moussante entre les stratifiés (12, 13, 14, 15) de plis présentant un échantillonnage identique de manière à obtenir une symétrie de l'enveloppe (10) et les cloisons internes (11) par rapport au nombre de plis.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il consiste à déposer, lors du premier dépôt, lors de l'étape (a), au moins des plis de fibres continues et des plis de fibres discontinues.

11. Structure aérodynamique, caractérisée en ce qu'elle est réalisée par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

12. Pale pour éolienne, caractérisée en ce qu'elle est réalisée par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

1/15



2/15

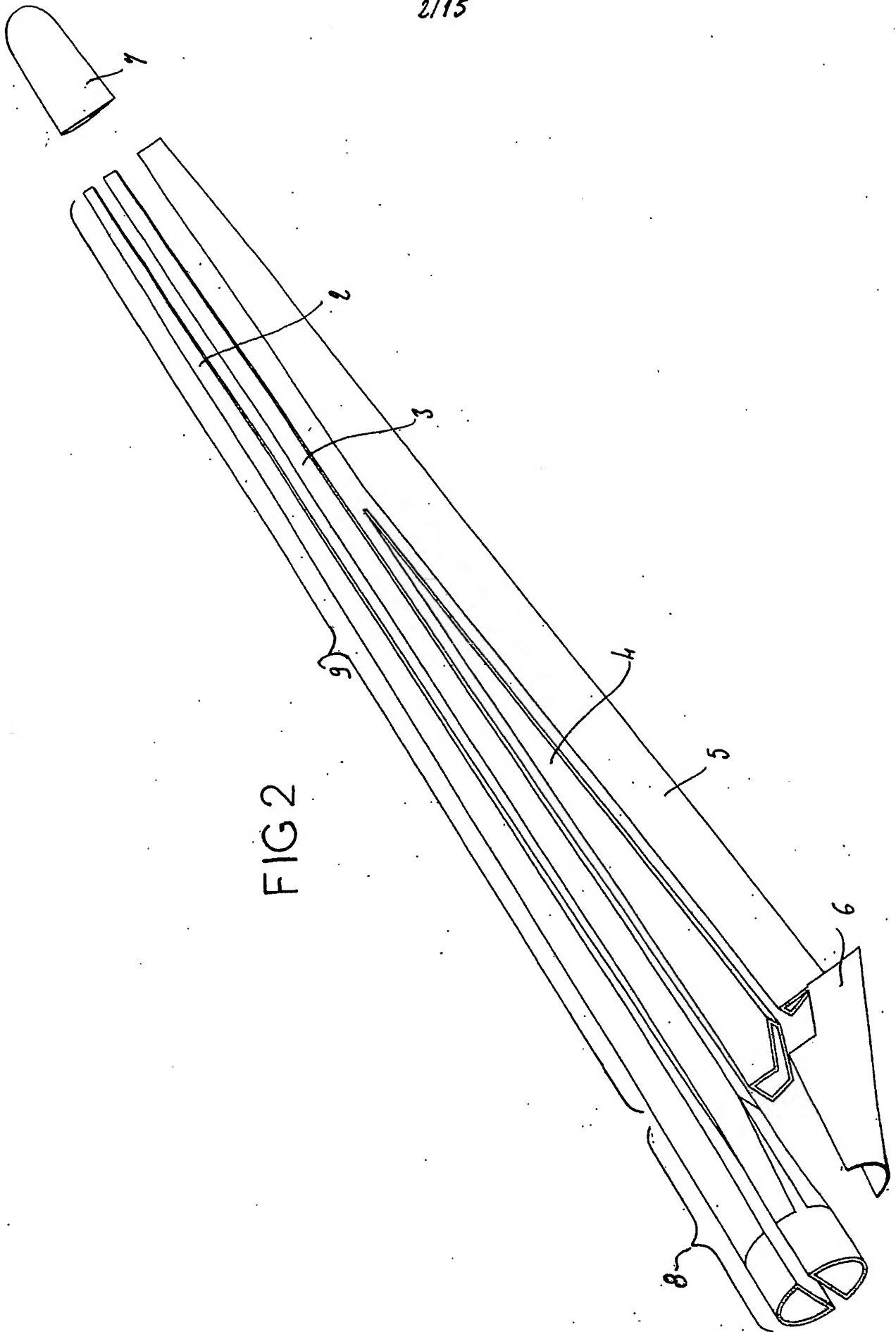


FIG 2

3/15

BEST AVAILABLE COPY

FIG 3

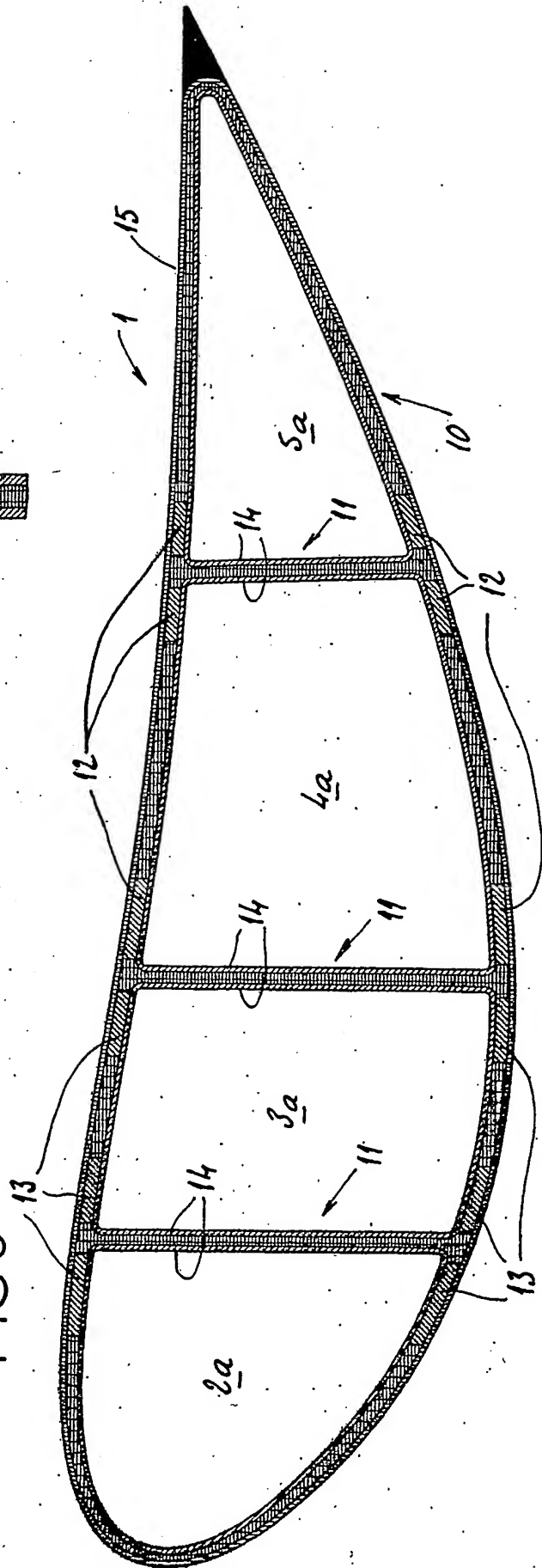
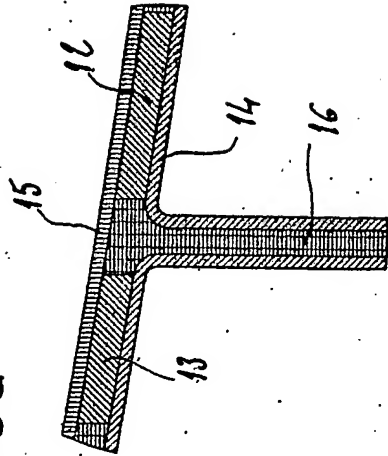


FIG 3a



4/15

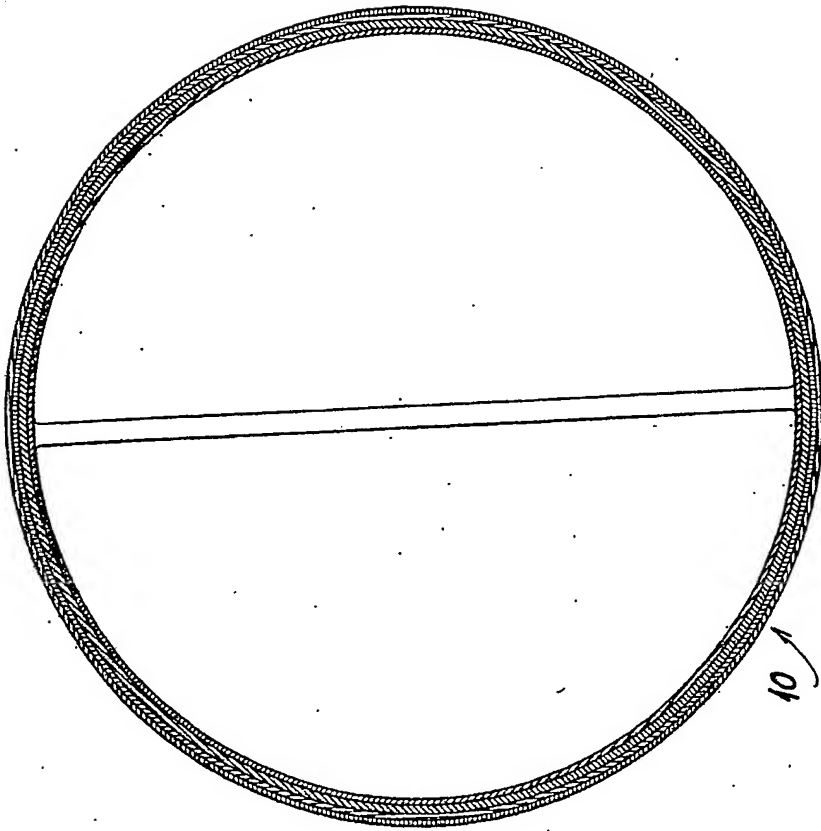
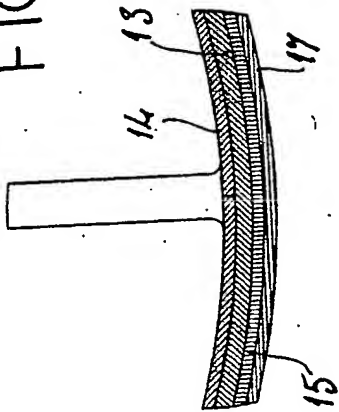


FIG 4

FIG 4a



BEST AVAILABLE COPY

5/15

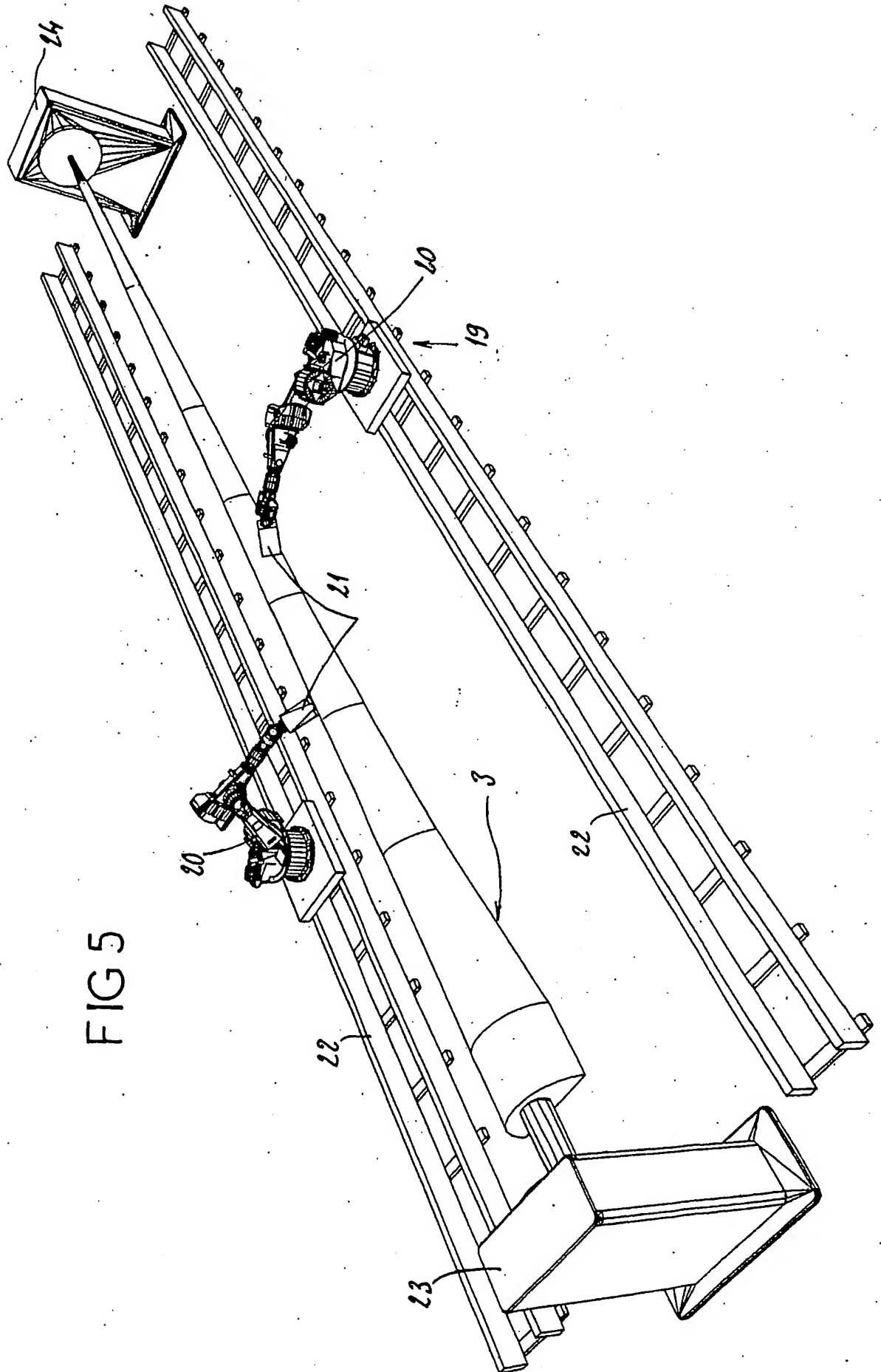
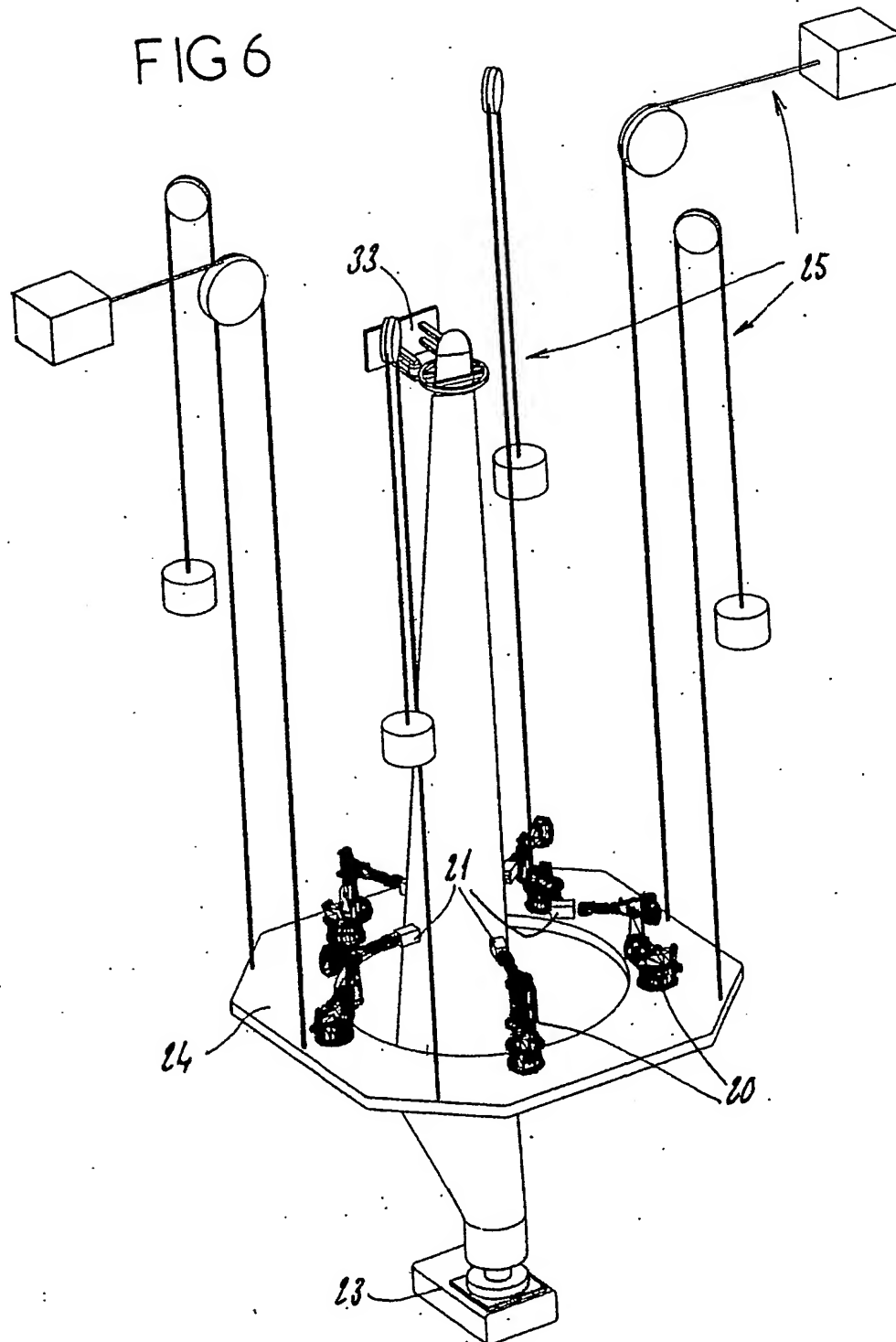


FIG 5

6/15

FIG 6



7/15

FIG 7

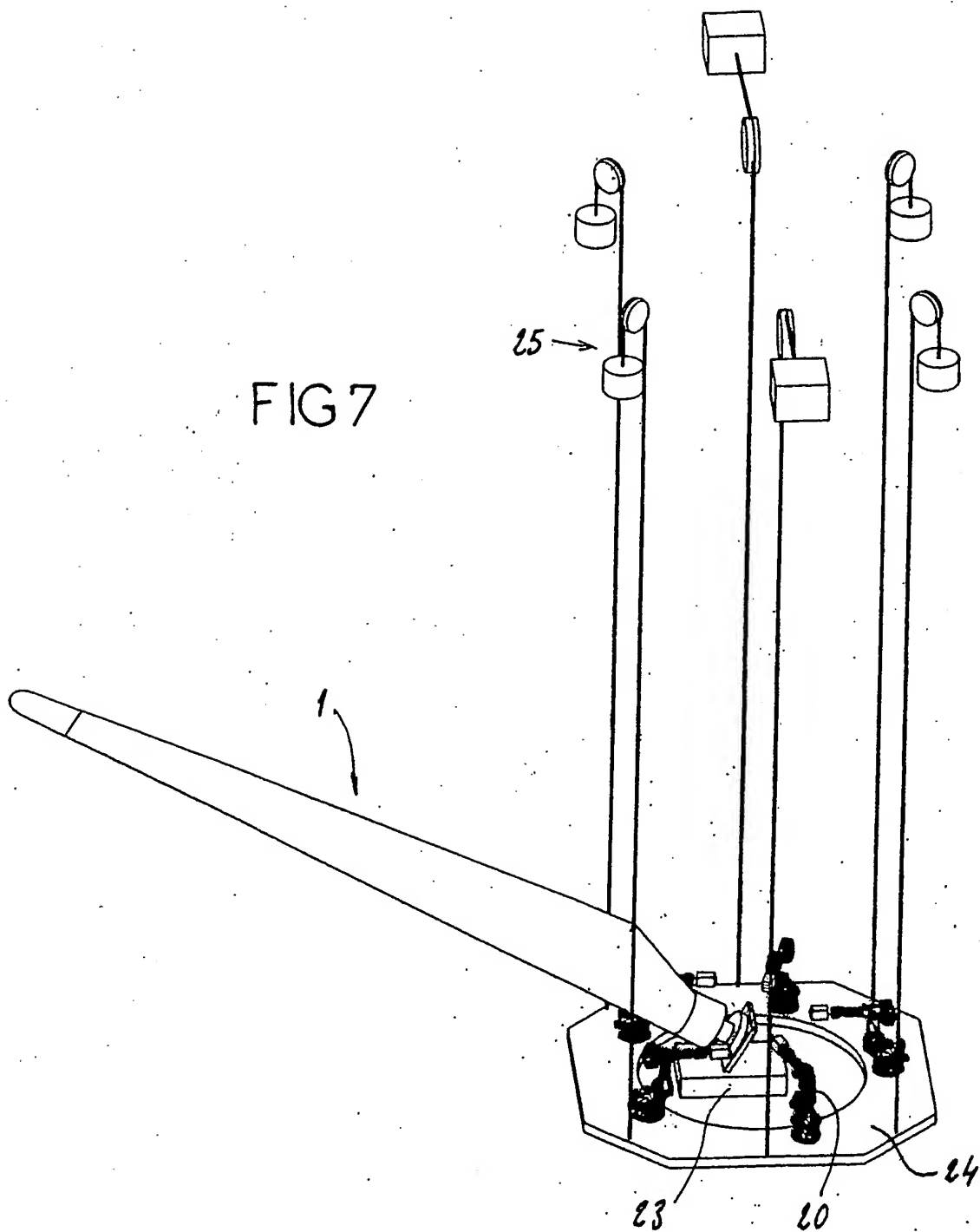
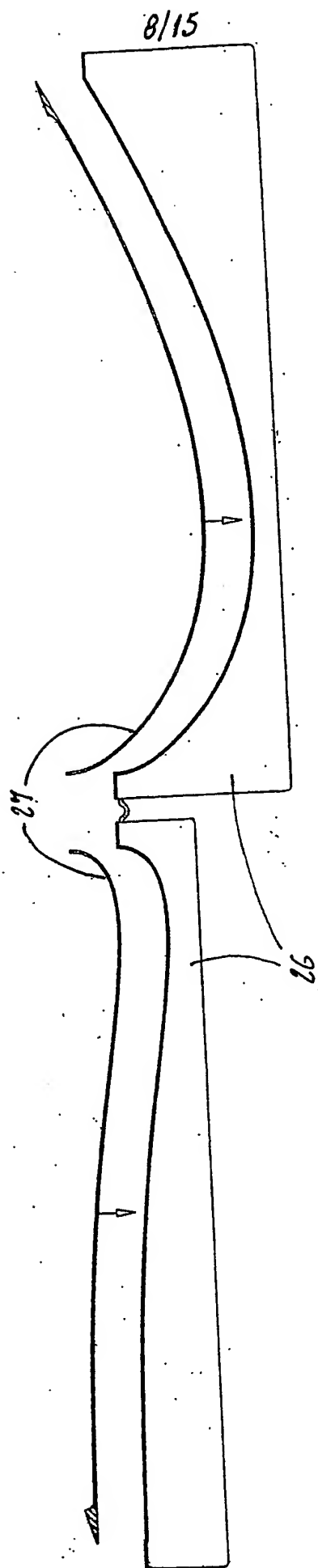


FIG 8



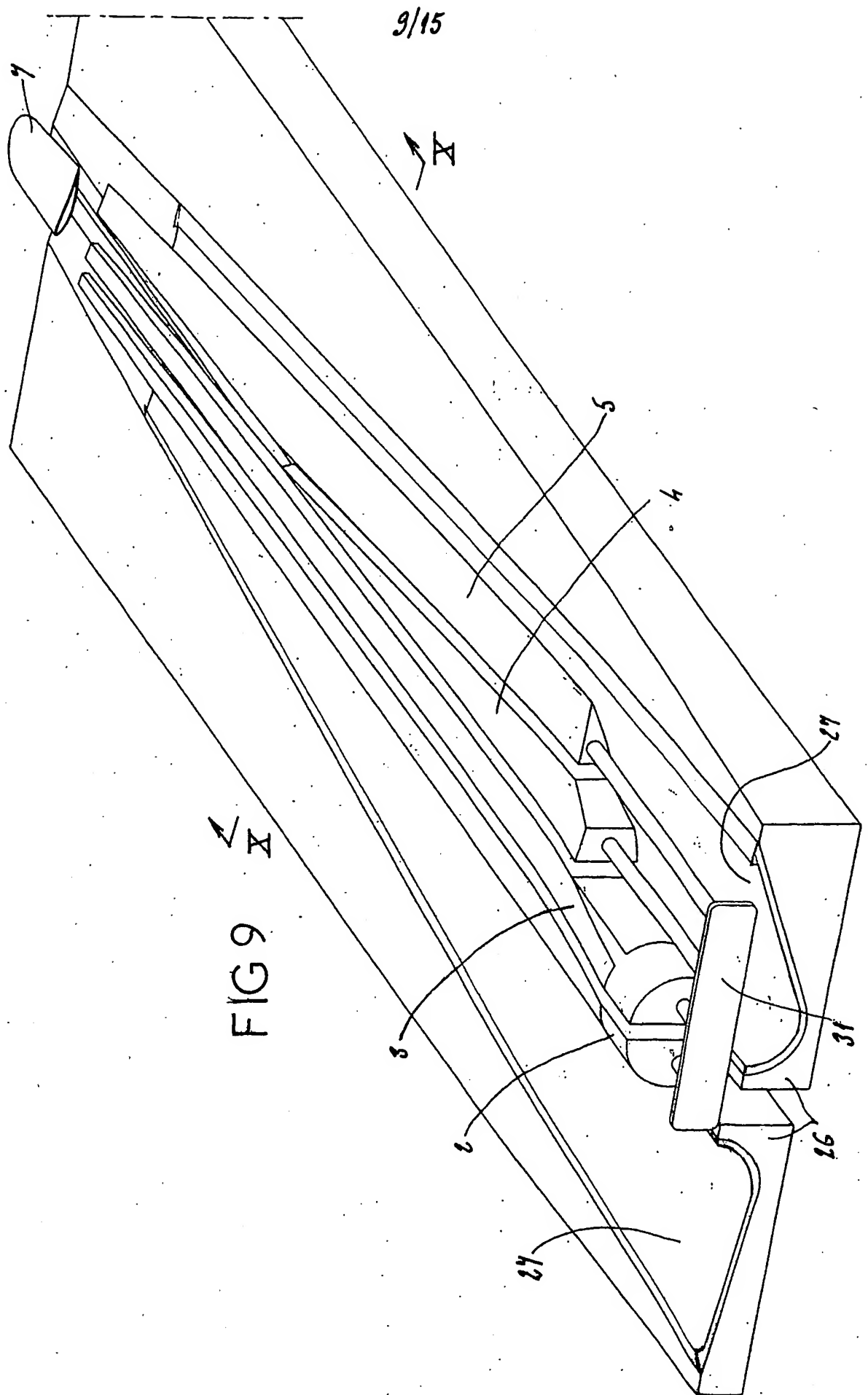
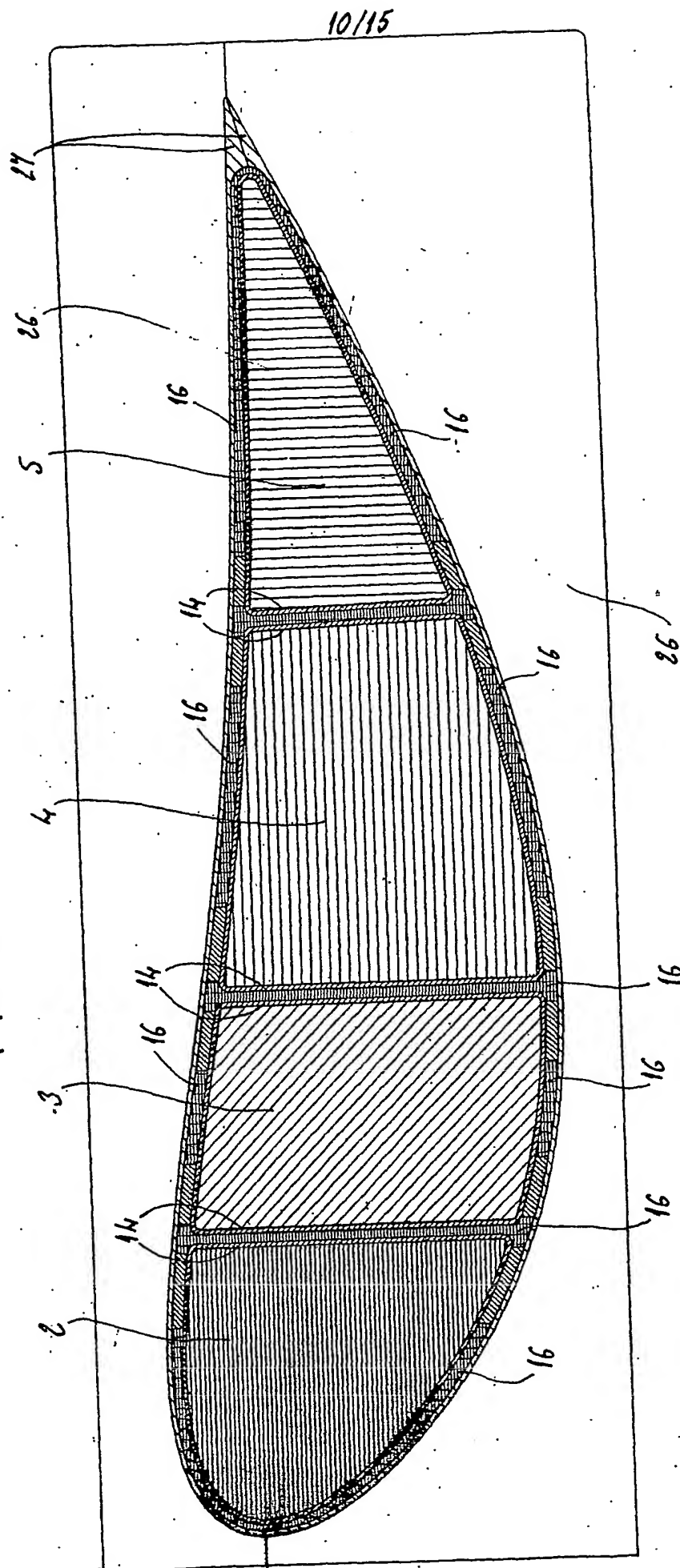
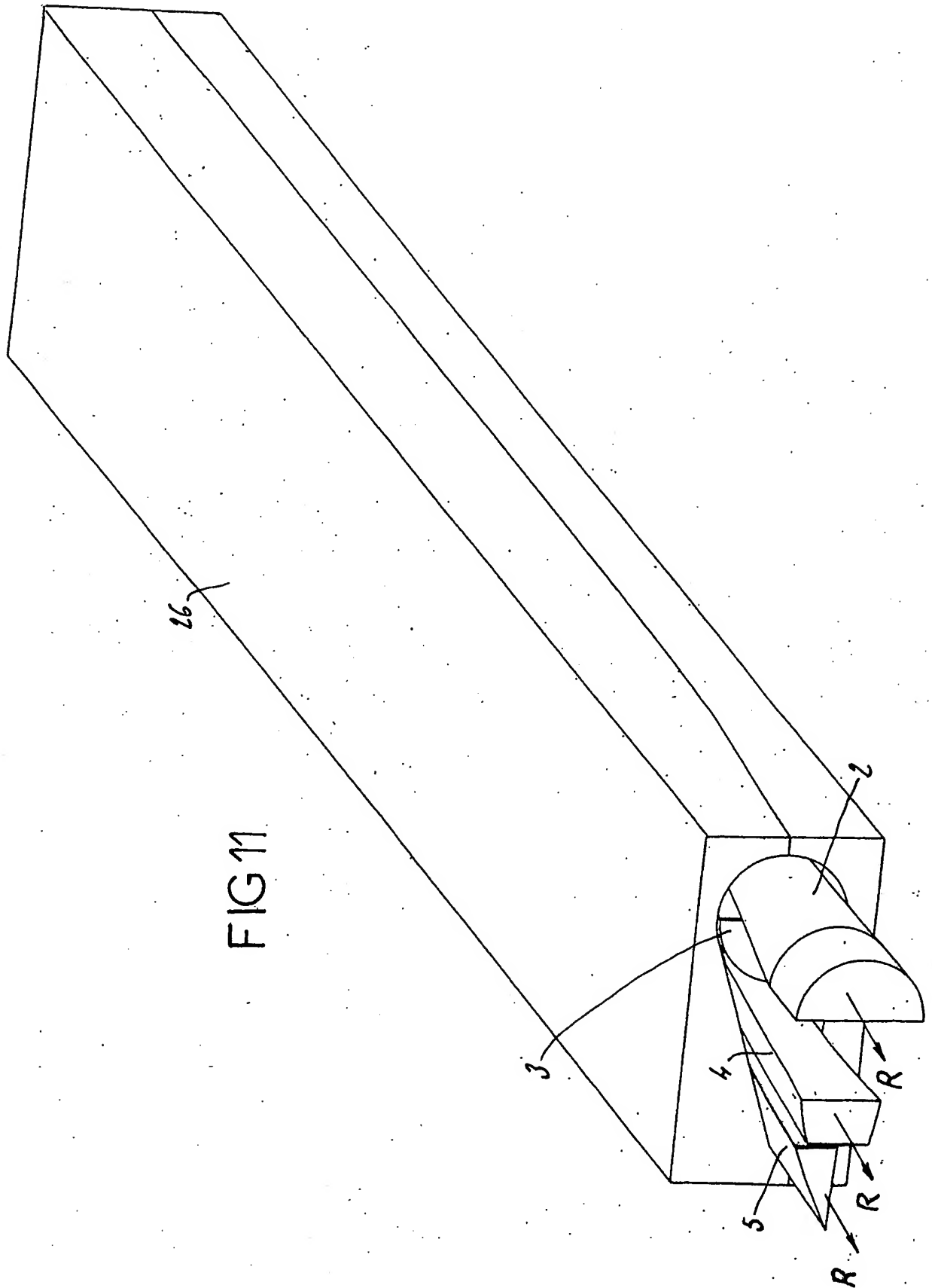
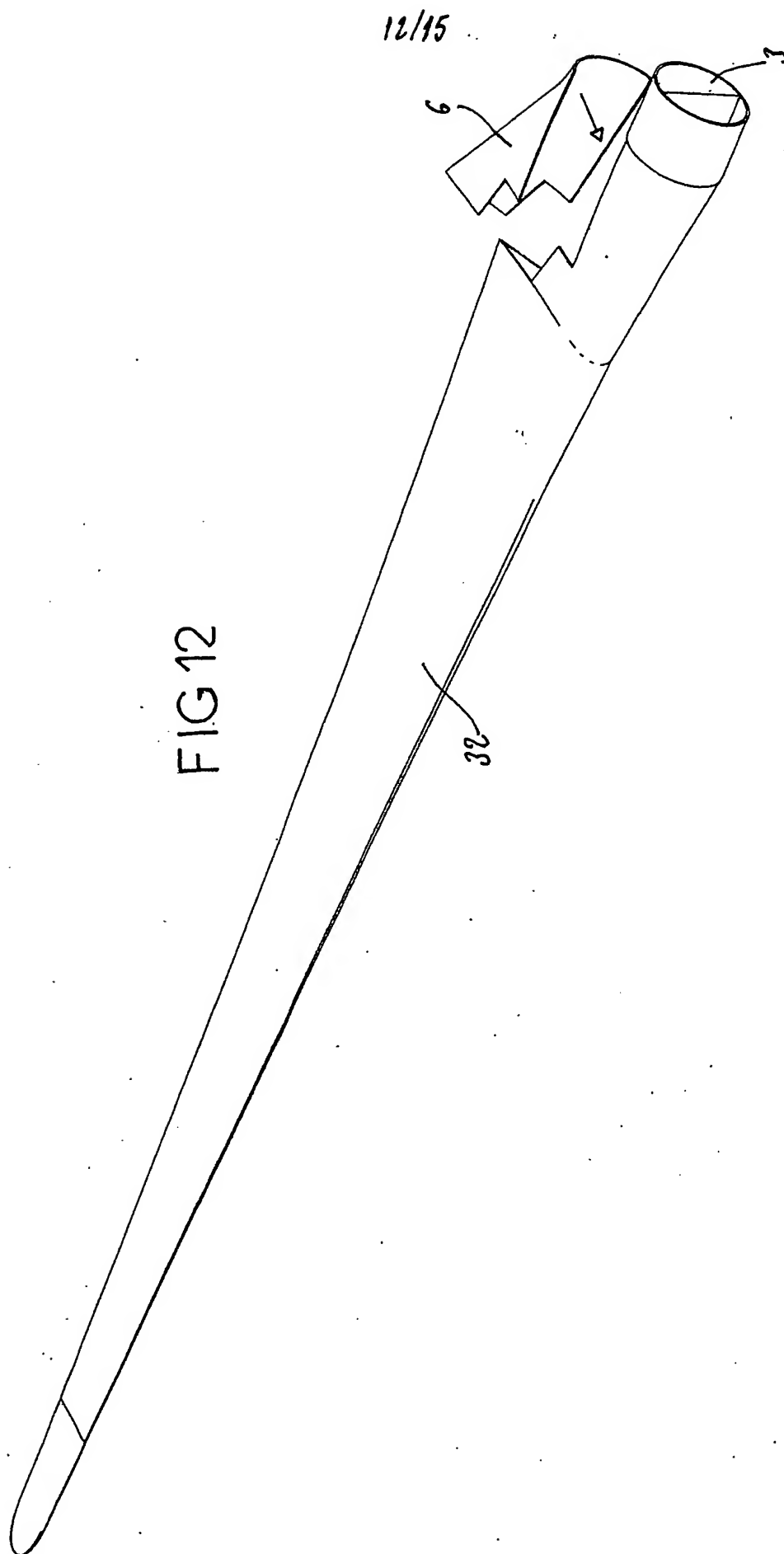


FIG 10



11/15





13/15

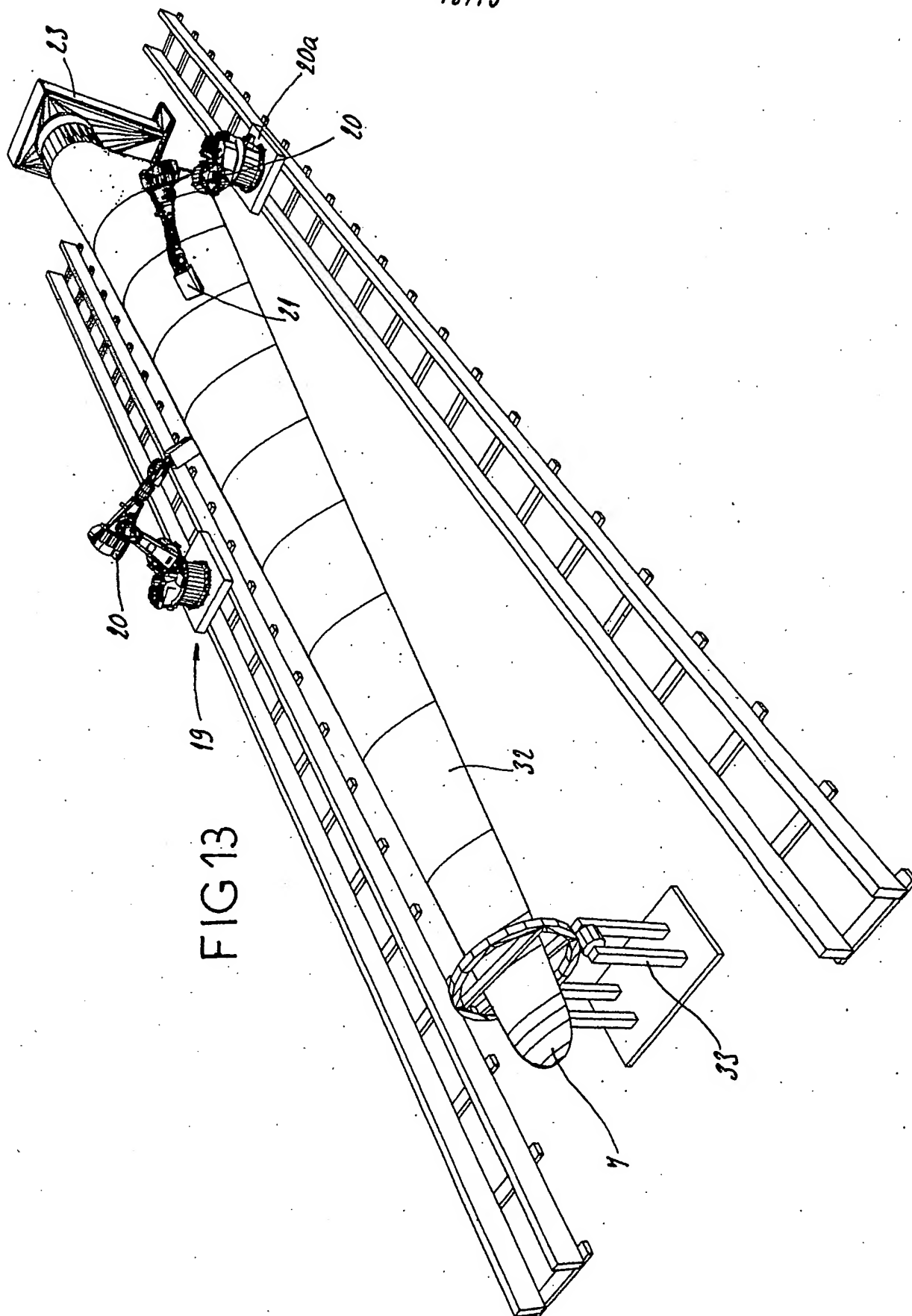


FIG 13

14/15

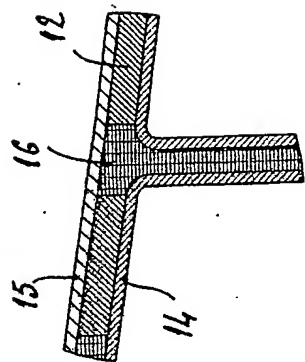
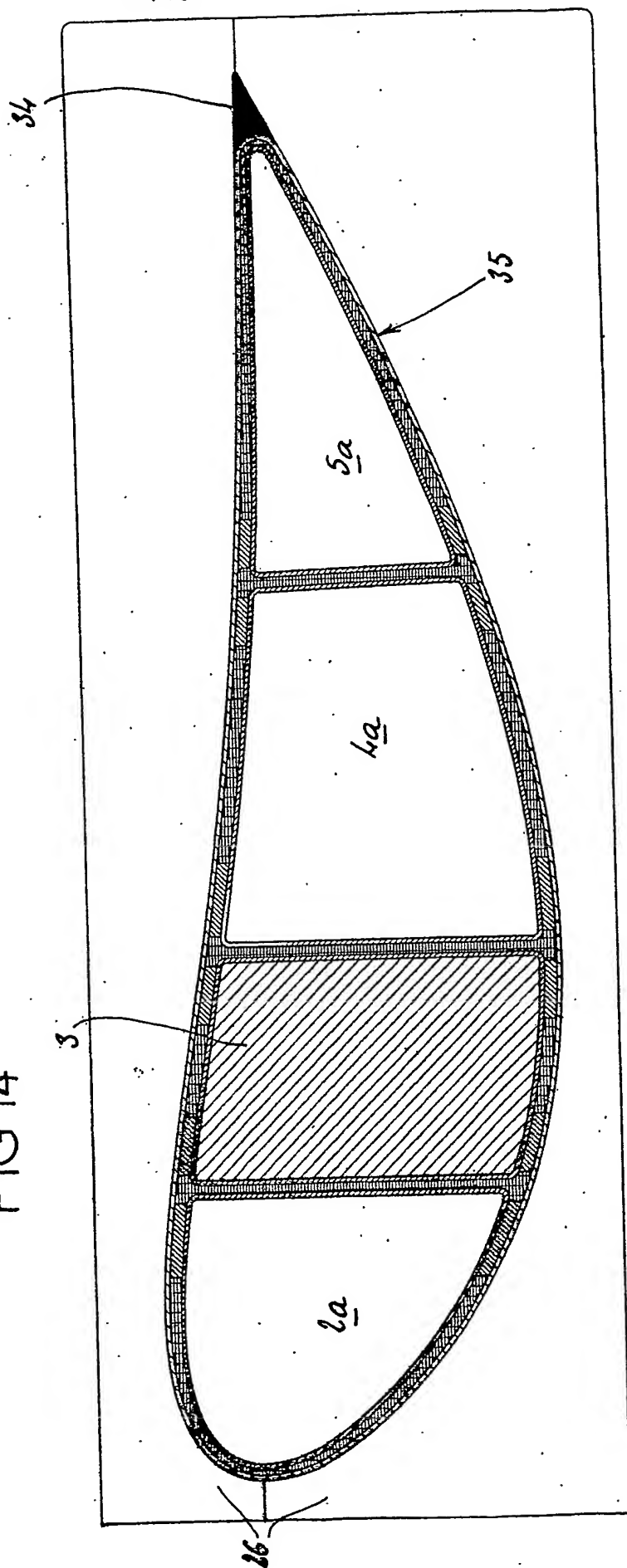


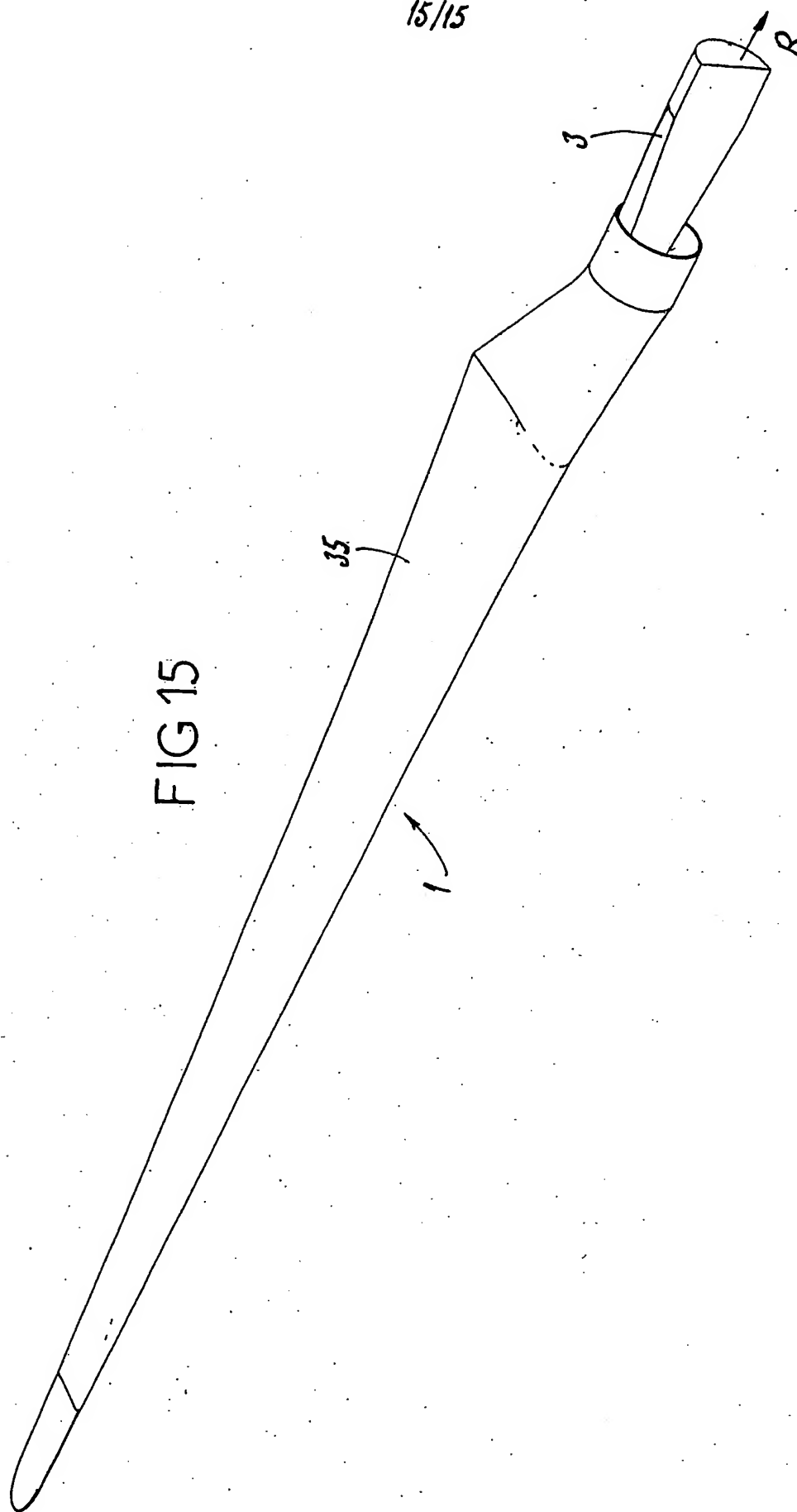
FIG 14a

FIG 14



15/15

FIG 15



## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B29D31/00 B29C69/00 B29C70/34 B29C70/48 B29C53/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 B29D B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 050 498 A (HAWKER SIDDELEY AVIAT) 2 April 1971 (1971-04-02) page 2, line 5 - line 25; figures 1,3,5	1-12
A	FR 2 254 428 A (FIBER SCIENCE INC) 11 July 1975 (1975-07-11) claims 1-12; figures 1-6	1-12
A	WO 95 20104 A (TORRES MARTINEZ M) 27 July 1995 (1995-07-27) claims 1-5; figures 9-14	1-12
A	EP 0 773 099 A (ROCKWELL INTERNATIONAL CORP) 14 May 1997 (1997-05-14) abstract; figure 2	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 February 2003

Date of mailing of the international search report

18/02/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pierre, N

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
FR 2050498	A	02-04-1971	DE FR	2032283 A1 2050498 A7	25-03-1971 02-04-1971
FR 2254428	A	11-07-1975	FR	2254428 A1	11-07-1975
WO 9520104	A	27-07-1995	ES WO	2089965 A2 9520104 A1	01-10-1996 27-07-1995
EP 0773099	A	14-05-1997	US EP	5469686 A 0773099 A1	28-11-1995 14-05-1997

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
 CIB 7 B29D31/00 B29C69/00 B29C70/34 B29C70/48 B29C53/66

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
 CIB 7 B29D B29C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 050 498 A (HAWKER SIDDELEY AVIAT) 2 avril 1971 (1971-04-02) page 2, ligne 5 - ligne 25; figures 1,3,5	1-12
A	FR 2 254 428 A (FIBER SCIENCE INC) 11 juillet 1975 (1975-07-11) revendications 1-12; figures 1-6	1-12
A	WO 95 20104 A (TORRES MARTINEZ M) 27 juillet 1995 (1995-07-27) revendications 1-5; figures 9-14	1-12
A	EP 0 773 099 A (ROCKWELL INTERNATIONAL CORP) 14 mai 1997 (1997-05-14) abrégé; figure 2	1-12

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 février 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/02/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Pierre, N

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2050498	A	02-04-1971	DE	2032283 A1	25-03-1971
			FR	2050498 A7	02-04-1971
FR 2254428	A	11-07-1975	FR	2254428 A1	11-07-1975
WO 9520104	A	27-07-1995	ES	2089965 A2	01-10-1996
			WO	9520104 A1	27-07-1995
EP 0773099	A	14-05-1997	US	5469686 A	28-11-1995
			EP	0773099 A1	14-05-1997

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**